

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN PERFORMA ROTOR TURBIN
ANGIN DENGAN SUDU *UNIFORM* DAN *MIXED AIRFOIL* PADA
BEBERAPA VARIASI SUDUT SERANG**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

IRFAN ALI

D 200 130 086

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN PERFORMA ROTOR TURBIN ANGIN DENGAN SUDU *UNIFORM* DAN *MIXED AIRFOIL* PADA BEBERAPA VARIASI SUDUT SERANG

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

IRFAN ALI

D 200 130 086

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Nur Akli ST., M.Eng.

NIDN. 0001037801

HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN PERFORMA ROTOR TURBIN ANGIN DENGAN SUDU *UNIFORM* DAN *MIXED AIRFOIL* PADA BEBERAPA VARIASI SUDUT SERANG

Oleh :

IRFAN ALI

D 200 130 086

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Sabtu, 2 Desember 2017

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji


1. Nur Aklis, S.T., M.Eng.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Patna Partono, S.T., M.T
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Sunardi Wiyono, M.T.
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,


Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, Sabtu 23 Desember 2017

Penulis



IRFAN ALI

D 200 130 142

RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN PERFORMA ROTOR TURBIN ANGIN DENGAN SUDU *UNIFORM* DAN *MIXED AIRFOIL* PADA BEBERAPA VARIASI SUDUT SERANG

ABSTRAKSI

Energi merupakan kebutuhan mendasar dalam pembangunan ekonomi dan sosial. Kenaikan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi menyebabkan kebutuhan energi meningkat. Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang potensial untuk memenuhi kebutuhan sumber energi. Rotor turbin angin adalah peralatan mekanis yang bekerja untuk mengubah energi kinetik yang terkandung dalam energi angin menjadi tenaga mekanik. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan karakteristik performa dua model rotor turbin angin. Pada penelitian ini menggunakan rotor dengan model sudu *uniform* dan *mixed airfoil*. Rotor dengan sudu *uniform airfoil* menggunakan *primary airfoil* NREL S812 dan rotor menggunakan sudu *mixed airfoil* menggunakan airfoil pada *root*: NREL S814, *mid*: NREL S812, dan pada *tip*: NREL S813. Material sudu yang digunakan adalah *glassfibre reinforced plastics* (GRP) dengan cetakan yang di buat menggunakan CNC *milling 3 axis* dan menggunakan *polyurethane foam* sebagai struktur. Pengujian dilakukan pada sudut yang berbeda dengan sudut 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, dan 35° pada kecepatan angin 4m / s, dengan beban lampu 3 watt. Dari hasil pengujian diketahui bahwa kedua model rotor mempunyai sudut serang optimal 5°. Rotor *uniform airfoil* menghasilkan tegangan rata – rata tertinggi sebesar 2,72 v dan daya rata - rata tertinggi sebesar 0,38 w. Rotor *mixed airfoil* menghasilkan tegangan rata – rata tertinggi sebesar 3,23 v dan daya rata – rata tertinggi sebesar 0,46 w. Dari hasil pembahasan disimpulkan bahwa rotor *mixed airfoil* mempunyai performa yang lebih baik dari rotor *uniform airfoil* pada sudut serang optimal.

Kata Kunci: Angin, Airfoil Campuran, Airfoil Seragam, Energi Angin, Rotor, Turbin Angin.

ABSTRACTS

Energy is a fundamental demand in economic and social development. The growth of population and economic causes the increase of energy demand. Wind energy is a potential source of renewable energy to supply of energy demand. Wind turbine rotor is a mechanical equipment that works to convert kinetic energy contained in wind energy into mechanical power. The aim of this study is to compare the performance characteristics of two wind turbine rotor models. This study used two wind turbine rotor models with different blade geometry, uniform airfoil rotor with primary airfoil NREL S812 and mixed airfoil rotor with airfoil at root: NREL S814, mid: NREL S812, and on the tip: NREL S813. The blade material used is glass-fiber reinforced plastics (GRP) with molds made using CNC milling 3 axis and using polyurethane foam as a structure. The tests were performed at different angle of attack 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, and 35° angles at wind speed of 4m / s, with a 3-watt lamp load. Based on the researches, it was found that the two rotor models have an optimum angle of 5°. Uniform airfoil rotor produces highest an average voltage of 2.78 v and highest average power of 0.38 w. Mixed airfoil rotor produces highest average voltage of 3.23 v and highest average voltage of 0.46 w. From result of discussion concluded that mixed airfoil rotor have better performance than uniform airfoil rotor at optimum angle of attack.

Keywords: Wind, Wind Energy, Mixed Airfoil, Rotor, Wind Turbine, Uniform Airfoil.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan dasar dalam perkembangan ekonomi dan social. Pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi menyebabkan kebutuhan energi meningkat. Indonesia banyak menggunakan sumber energi fosil sebagai sumber energi utama di mana konsumsi minyak bumi sebesar 88 juta TOE atau 41,0 % dari total konsumsi energi nasional, diikuti batu bara 69 juta TOE atau 32,3 %, gas 42 juta TOE atau 19,7 % . Ketersediaan energi fosil di Indonesia maupun dunia cepat atau lambat akan habis karena memerlukan waktu yang lama untuk memperbaiki ketersediaannya, untuk mengatasi ketersediaan sumber energi di masa mendatang harus ada alternatif pengganti energi fosil. Untuk mengatasi ketersediaan energi pemerintah berusaha untuk mendorong pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan sebagai sumber energi utama selain sumber energi fosil. Pada tahun 2050 diperkirakan sumber energi baru dan terbarukan (EBT) diharapkan menjadi sumber energi utama dengan porsi 31 % dari total konsumsi energi nasional (Dewan Energi Nasional, 2015)

Energi angin adalah bentuk energi yang terkonversi dari energi matahari yang diterima bumi melalui radiasi yang kemudian mengakibatkan pemanasan pada atmosfer, karena pemanasan yang tidak merata maka mengakibatkan perbedaan tekanan di atmosfer. Dibanding dengan sumber energi lain, Energi angin mempunyai banyak keuntungan dan keunggulan, tidak seperti bahan bakar fosil yang menghasilkan gas emisi berbahaya dan energi nuklir yang menghasilkan limbah radioaktif, energi angin adalah sumber energi yang bersih dan ramah lingkungan. Energi angin adalah salah satu sumber energi terbarukan yang banyak dimanfaatkan di berbagai negara, di Indonesia pemanfaatan energi angin dilakukan melalui pusat listrik energi bayu (PLTB) yang telah dibangun di berbagai wilayah di Indonesia seperti di Sulawesi Utara, Kepulauan Pasifik, Pulau Selayar dan Nusa Penida Bali dengan kapasitas masing – masing 80 kW, pengembangan pembangkit tenaga angin di Indonesia bertujuan untuk mencapai target total kapasitas terpasang sebesar 970 MW pada tahun 2025 (Dewan Energi Nasional, 2015)

Kincir angin merupakan sistem konversi energi angin yang umum digunakan dalam pemanfaatan energi angin, kincir angin mengkonversi energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik yang dapat dimanfaatkan untuk penggerak pompa, penggiling biji – bijian, dan lain – lain, Saat ini kincir angin lebih banyak digunakan untuk penggerak generator untuk menghasilkan listrik, kincir angin jenis ini sering disebut turbin angin.

Sudu rotor turbin merupakan bagian penting dari sebuah turbin angin. Banyak penelitian telah dilakukan terkait geometri sudu rotor turbin angin, diantaranya Hsiao, F. B., dkk. (2013) pada penelitian menyimpulkan bahwa sudu turbin *tapered* dan *twisted* merupakan bentuk

geometri paling optimal yang menghasilkan *maximum power coefficient (CP)* dan *tip speed ratio (TSR)* yang tinggi.

Suprianto, F.D. dan Jonathan, P. (2013) meneliti empat model sudu turbin angin sumbu horisontal yaitu *Uniform Ideal Blade*, *Uniform Linearized Blade*, *Mixed Ideal Blade*, dan *Mixed Linearized Blade*. *Uniform Ideal Blade* adalah *blade* dengan komposisi *airfoil* yang tetap sepanjang *blade span*, yaitu *NREL S-833* dengan distribusi *Chord (c)* dan *Twist (θp)* yang ideal. *Mixed Ideal Blade* adalah *blade* dengan komposisi *airfoil* yang bervariasi dengan komposisi 0,4; 0,75; 0,95 sepanjang *blade span* dengan *airfoil NREL S-835*, *NREL S-833*, *NREL S-834* dengan distribusi *Chord (c)* dan *Twist (θp)* yang ideal. Sementara *Uniform Linearized Blade* dan *Mixed Linearized Blade* jenis *blade* yang telah di linierisasi. Dari hasil analisa, desain *blade* yang paling optimal menurut metoda *blade element momentum theory* adalah *Mixed Ideal Blade* dengan selisih *Coefficient of Performance (CP)* sekitar 1,2% lebih tinggi dari *Uniform Ideal Blade*, dan hampir 10% lebih tinggi dari *Mixed/Uniform Linearised Blade*.

Gómez, U.E.Y., dkk. (2014) pada penelitiannya menyimpulkan bahwa sudu turbin yang memiliki karakteristik aerodinamis yang bagus akan menghasilkan efisiensi mekanis rotor yang baik pula. Metode CAD/CAM sangat disarankan pada proses pembuatan sudu turbin untuk menjamin karakteristik aerodinamis *airfoil* yang direncanakan.

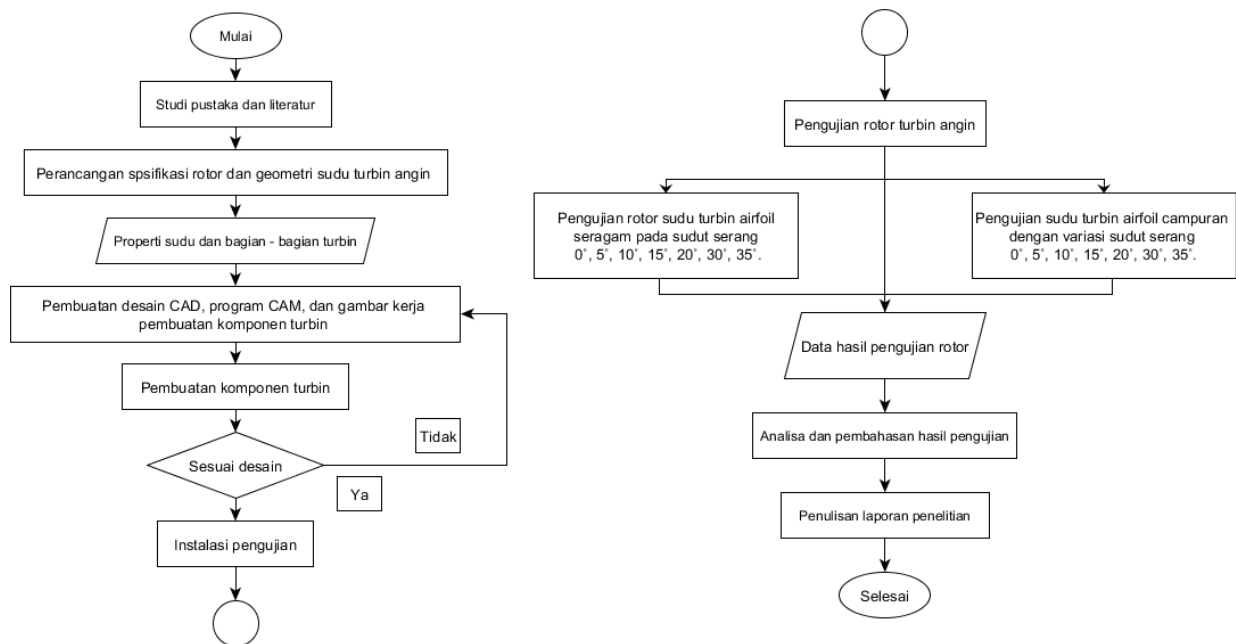
Tang, X. dkk. (2011) merancang sudu turbin horizontal *fixed pitch* berkapasitas 10 kW. Sudu turbin dirancang menggunakan *airfoil* yang berbeda dari pangkal sampai ujung sudu (*mixed airfoil*). Analisa *Finite Element Analysis (FEM)* dengan menggunakan software ABAQUS dapat memprediksi defleksi dan distribusi regangan sudu turbin pada kondisi angin ekstrem. Hasil analisa menunjukkan sudu *mixed airfoil* pada kondisi angin ekstrim dapat mengurangi kelengkungan ujung sudu sehingga *clearance* antara ujung sudu dan menara cukup untuk mencegah tabrakan.

Penelitian ini akan merancang, membuat dan menguji performa karakteristik dua model rotor turbin angin horizontal yaitu dengan sudu menggunakan *airfoil* seragam / *uniform airfoil* dan sudu menggunakan *airfoil* campuran / *mixed airfoil*. Pengujian dilakukan dengan kecepatan angin konstan pada sudut serang bervariasi sehingga didapatkan karakteristik performa masing – masing rotor turbin angin.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Diagram Alir

Berikut adalah tahapan – tahapan yang dilakukan pada penelitian ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan :

1. CNC milling 3 axis
2. *Endmill Ball* 6mm
3. *Endmill Flat* 6mm
4. Kuas
5. Gerinda
6. Mesin bubut
7. Mesin milling

Bahan yang digunakan :

1. *Fiberglass*
2. *Polyester resins*
3. *Katalis*
4. *Cobalt*
5. *Mirror Glaze*
6. Kayu

2.3 Perancangan rotor

2.3.1 Geometri sudu turbin angin

Setelah menentukan spesifikasi rotor turbin kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan geometri sudu turbin, perhitungan dilakukan dengan metode *schmitz*, dari hasil perhitungan didapatkan geometri sudu turbin seperti berikut:

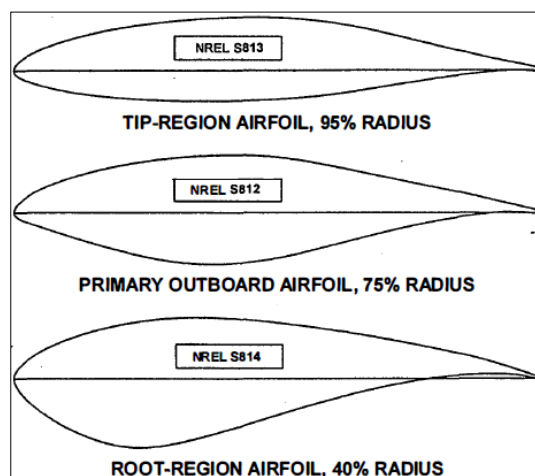
Section (n)	r/R	Chord (Cr)	Twist angle (β)*	Distribusi Airfoil	
				Mixed	Uniform
0	0,070 m	85 mm	26,4°	S814	S812
1	0,156 m	56 mm	12,4°	S814	S812
2	0,293 m	33 mm	5,1°	S812	S812
3	0,417 m	23 mm	2,5°	S812	S812
4	0,483 m	20 mm	1,6°	S813	S812
5	0,500 m	20 mm	1,5°	S813	S812

*Untuk mempermudah proses manufaktur sudu turbin maka *twist angle* (β) diabaikan

Tabel 1. Geometri sudu turbin

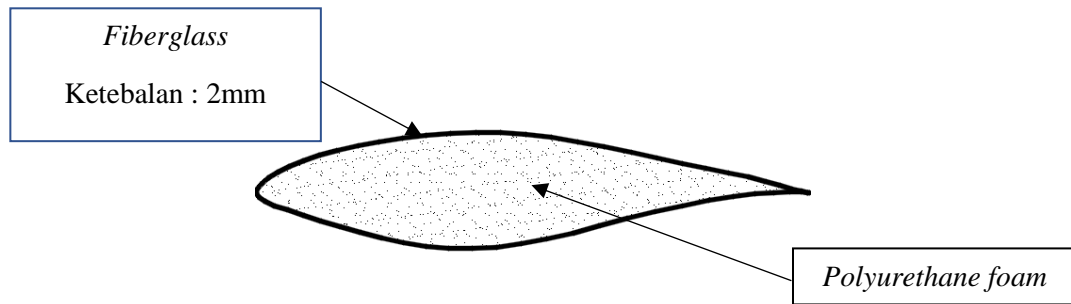
2.3.2 Airfoil sudu turbin

Sudu turbin angin didesain menggunakan airfoil yang dikembangkan oleh NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) yaitu NREL S813, NREL S812, dan NREL S814 dengan distribusi airfoil pada sudu dapat dilihat pada **tabel 1**.



Gambar 2. NREL Airfoil family [8]

2.4 Material dan struktur sudu turbin

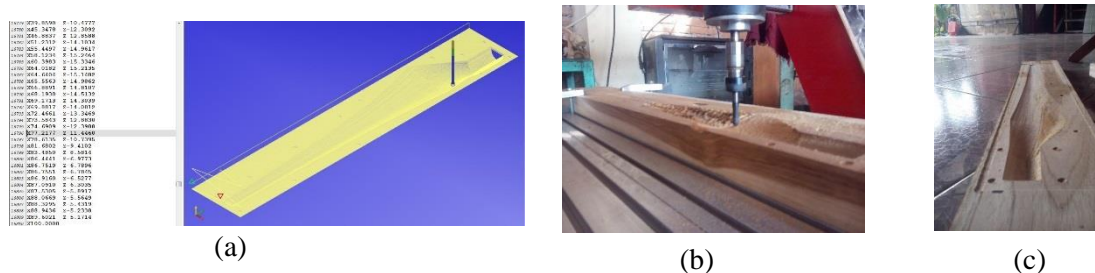


Gambar 3. Material dan struktur sudu turbin angin

Sudu turbin dibuat menggunakan komposit dengan *matrix polyester resins* dan penguat *woven fiberglass* kemudian rongga didalam sudu di isi dengan polyurethane foam sekaligus sebagai struktur sudu turbin angin

2.5 Pembuatan Turbin

2.5.1 Pembuatan cetakan sudu turbin



Gambar 4. Pembuatan *mold* (cetakan) a) Simulasi program CAM b) Machining cetakan pada CNC Router c) Cetakan setelah di CNC Router

Cetakan dibuat dengan *stock material* kayu jati, kemudian di machning dengan dua proses yaitu *roughing* dan *finishing* pada CNC router, dengan langkah – langkah sebagai berikut:

1. Memasang stock material pada meja CNC router.
2. Mempersiapkan program CAM proses *roughing* dan *finishing* pada komputer yang terhubung CNC router.
3. Memasang *cutting tool* untuk proses *roughing*.
4. Setting titik *zero tool*, kemudian menjalankan program untuk proses pemotongan *roughing*.
5. Mengganti *cutting tool* untuk proses *finishing*.
6. Setting titik *zero tool*, kemudian menjalankan program untuk proses pemotongan *finishing*.

7. Mengulangi proses 1-6 sampai semua cetakan jadi.

2.5.2 Pembuatan Sudu

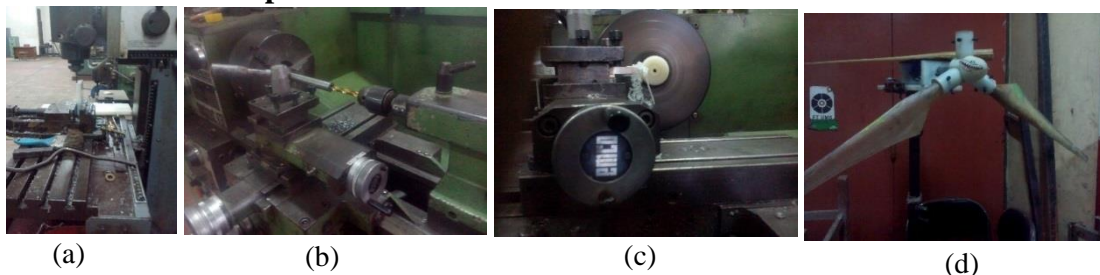


Gambar 5. Pembuatan sudu a) *Marking fiberglass* b) *Cutting fiberglas* dan *hand lay up* pada cetakan c) *Resin, katalis, dan cobalt* d) setelah pencetakan e) sudu yang telah dirapikan dan di isi *foam*.

Sudu turbin dibuat dari material komposit serat kaca (*fiberglass*) dengan matik *polyester resins*. Kemudian rongga di dalam sudu di isi menggunakan *polyurethane foam* sekaigus sebagai struktur. dengan langkah – langkah sebagai berikut:

1. Membuat *marking* pada *fiberglass* sesuai sudu turbin, kemudian dipotong dengan gunting.
2. Menghaluskan permukaan cetakan dengan amplas 1000, kemudian dilapisi *wax mirror glaze®* sebagai *release agent*.
3. Mempersiapkan campuran *polyester resins* dan katalis, membuat lapisan fiberglass pada cetakan.
4. Menuangkan campuran *resin* dan *katalis* pada cetakan yang dilapisi *fiberglass* kemudian diratakan menggunakan kuas.
5. Memasang kedua cetakan yang telah dilapisi kemudian kunci menggunakan *clamp*.
6. Membuka cetakan dan melepas sudu turbin yang telah kering, kemudian dirapikan.

2.5.3 Pembuatan komponen turbin

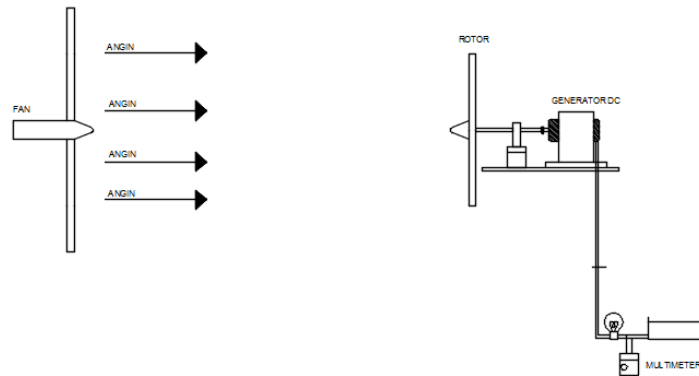


Gambar 6. Pembuatan komponen turbin a) *Milling process* komponen nacelle b) Pembuatan *main shaft* pada mesin bubut c) *Chamfering* pada komponen *hub rotor* d) *assembly* komponen turbin

Pembuatan komponen – komponen turbin angin dilakukan dengan berbagai proses berdasarkan gambar kerja yang telah dibuat pada *software CAD*, setelah semua komponen turbin dibuat kemudian di *assembly* dan diuji coba kelayakannya.

2.6 Pengujian turbin angin

2.6.1 Instalasi pengujian



Gambar 7. Instalasi Pengujian

2.6.2 Langkah pengujian

Setelah semua persiapan alat selesai, maka langkah-langkah pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memasang instalasi pengujian seperti pada gambar diatas.
2. Memasang beban lampu 3 watt pada *data logger*
3. Memasang sudu turbin pada hub rotor, kemudian mensetting sudut serang 0° berdasarkan *marking* yang telah dibuat pada hub.

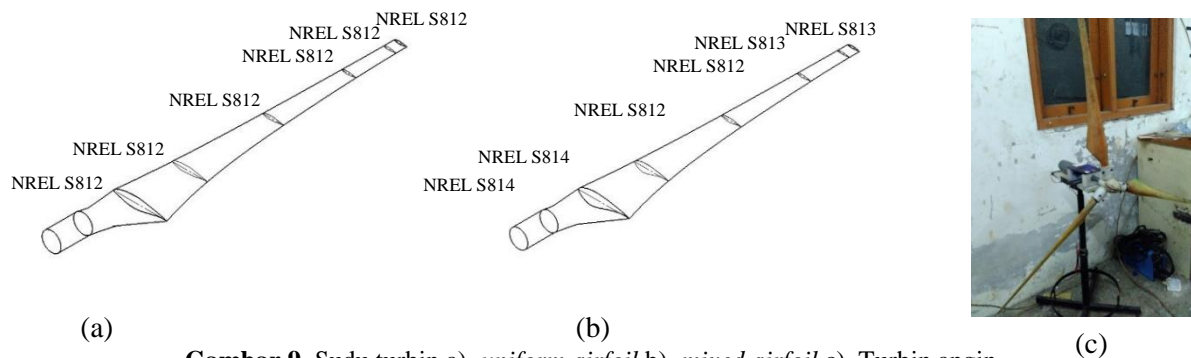


Gambar 8. *Marking* sudut serang

4. Menghidupkan kipas angin sebagai sumber energi angin, kemudian melakukan *start up* (bila diperlukan) sampai turbin angin bekerja relatif konstan.
5. Setelah putaran turbin relatif konstan kemudian memulai pengambilan data RPM dan merekam data keluaran generator dengan data logger selama 4-5 menit.
6. Menulangi langkah nomor 3 hingga 5 untuk pengujian karakteristik performa dengan variasi sudut serang 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° dan 35° .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi rotor turbin angin



Gambar 9. Sudu turbin a). *uniform airfoil* b). *mixed airfoil* c). Turbin angin

Tipe :	<i>HAWT</i>
Daya :	45 watt
Kecepatan angin:	7 m/s
<i>Tip speed ratio:</i>	7
Diameter:	1,16 m
Jumlah sudu (B)	3
Material sudu :	<i>Glassfibre-Reinforced Plastics</i>
Struktur :	<i>Core Foam</i>

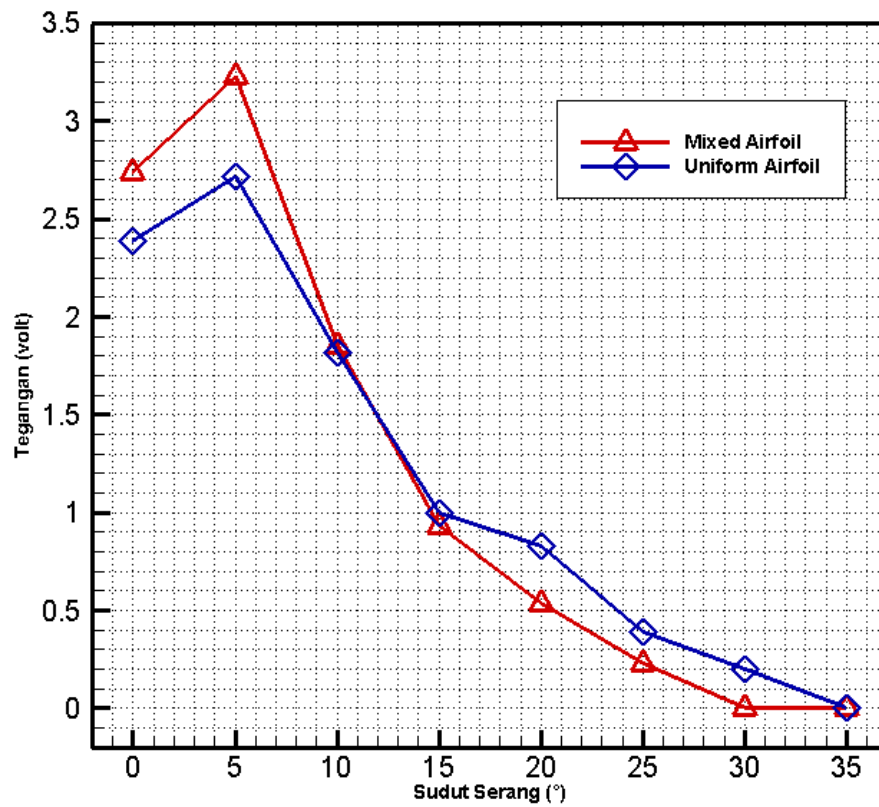
Tabel 2. spesifikasi turbin

3.2 Hasil dan Pembahasan

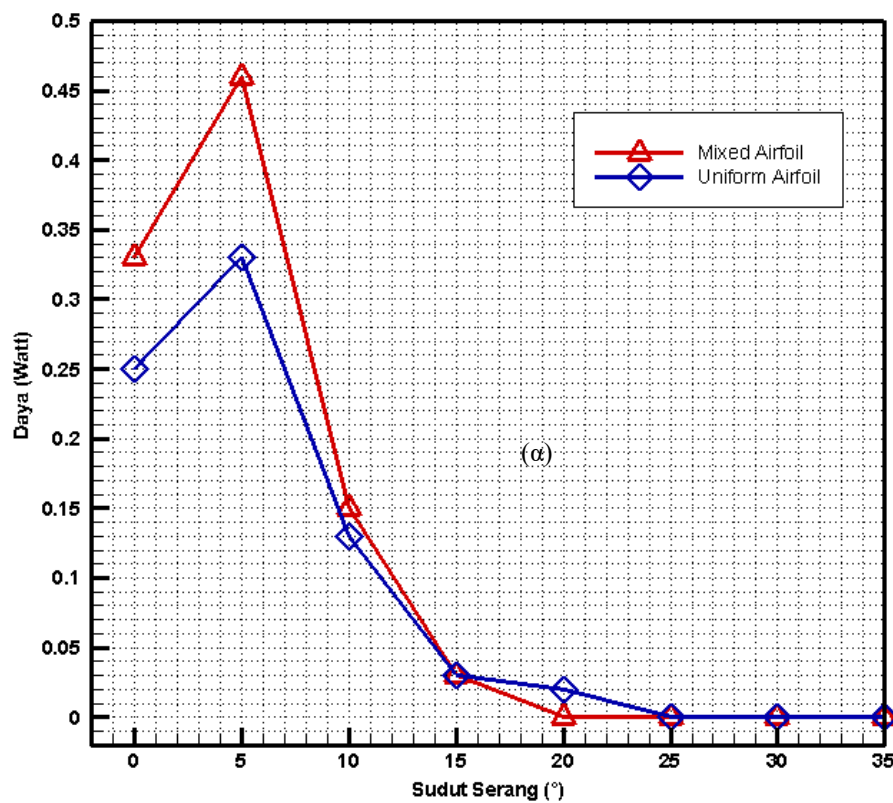
3.2.1 Perbandingan tegangan dan daya rotor *uniform airfoil* dan *mixed airfoil* terhadap sudut serang (α)

Pada sudut 0° kedua rotor mempunyai performa yang cukup tinggi, meski pada proses pengujian diketahui pada sudut ini memerlukan banyak energi awal pada saat *start up* sampai bekerja menggerakkan generator. Pada sudut 5° kedua rotor turbin menghasilkan tegangan dan daya tertinggi selama pengujian, pada sudut ini memerlukan sedikit energi awal untuk *start up*. Pada sudut 10° , 15° , 20° , 25° , 30° kedua rotor turbin terus mengalami penurunan performa, tetapi rotor turbin tidak memerlukan energi awal untuk *start up*. Pada sudut 35° rotor turbin dapat melakukan *start up* dengan cepat tanpa energi awal, tetapi tegangan dan daya yang dihasilkan sangat kecil.

Performa rotor turbin *mixed airfoil* pada sudut serang 0 dan 5° menghasilkan tegangan dan daya yang lebih tinggi dari rotor *uniform airfoil* pada kecepatan angin yang sama 4 m/s. Pada sudut 10 dan 15 kedua perform rotor turbin menghasilkan tegangan dan daya yang hampir sama. Pada sudut 20 , 25 , dan 30 performa rotor turbin *uniform airfoil* menghasilkan tegangan dan daya yang lebih tinggi dari rotor *mixed airfoil*. Pada sudut serang optimal performa rotor *mixed airfoil* menghasilkan tegangan dan daya yang lebih tinggi dari rotor *uniform airfoil*.

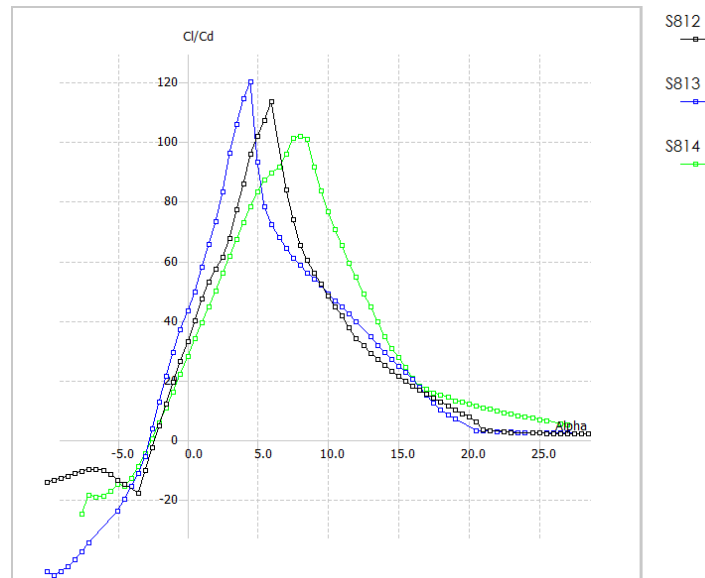


Gambar 10. Perbandingan tegangan rotor *uniform* dan *mixed airfoil* terhadap sudut serang



Gambar 11. perbandingan daya rotor *uniform airfoil* dan *mixed airfoil* terhadap sudut serang

Rotor uniform dan mixed airfoil mencapai performa optimal pada sudut serang 5° , hal ini dapat disebabkan karena menurut grafik *Glide Ratio* (C_L/C_D) terhadap sudut serang (α) yang diprediksi menggunakan software CAE *Qblade* diketahui bahwa *Glide ratio* tertinggi pada masing – masing airfoil yang digunakan terjadi pada sudut sekitar 5° , lihat **Gambar 3.3**.



Gambar 12. *Glide Ratio* (C_L/C_D) terhadap α airfoil NREL S814, NREL S812, dan NREL S813

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan performa dua rotor turbin angin menggunakan sudu *uniform* dan *mixed airfoil* pada sudut serang 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , dan 35° dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Rotor *uniform* dan *mixed airfoil* telah direncanakan mempunyai diameter 1,08 m untuk menghasilkan daya 50 watt pada kecepatan angin 7 m/s. Sudu rotor uniform airfoil menggunakan airfoil NREL S812 sebagai primary airfoil dari *root* sampai *tip*, sedangkan sudu untuk rotor mixed airfoil menggunakan airfoil pada root: NREL S814, mid: NREL S812, dan tip: NREL S813. Kedua sudu turbin dibuat menggunakan material *glassfiber reinforced plastics* (GRP) dan *polyurethane foam* sebagai struktur.
2. Pada sudut 0° dan 5° rotor *mixed airfoil* mempunyai performa yang lebih baik dari rotor *uniform airfoil*. Pada sudut 10° dan 15° rotor uniform dan mixed airfoil mempunyai performa yang hampir sama. Pada sudut 20° , 25° , dan 30° rotor *uniform airfoil* memiliki perform yang lebih baik dari rotor *mixed airfoil*.

Rotor uniform dan mixed airfoil mempunyai performa optimal pada sudut 5° . Pada sudut serang optimal rotor mixed airfoil mempunyai performa lebih baik dari rotor uniform airfoil.

4.2 Saran

Berdasarkan proses pengerjaan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal antara lain:

1. Menggunakan generator yang baik, agar mendapatkan keluaran energi yang optimal.
2. Diperlukan konstruksi yang kuat untuk menunjang proses pengujian rotor.
3. Menggunakan bearing SKF seri E2 (*energy efficient solutions*)

DAFTAR PUSTAKA

- Gómez, U.E.Y., López, Z.J.A., Jimenez, R.A., López, G.V. and Villalon, L.J., 2014. *Design and Manufacturing of Wind Turbine Blades of Low Capacity Using CAD/CAM Techniques and Composite Materials. Energy Procedia*, 57, pp.682-690.
- Gasch, R. and Tvele, J. eds., 2011. *Wind power plants: fundamentals, design, construction and operation*. Springer Science & Business Media.
- Gundtoft, S., 2009. *Wind turbines*. University College of Aarhus.
- Hsiao, F. B., Bai, C. J., & Chong, W. T. 2013. *The performance test of three different horizontal axis wind turbine (HAWT) blade shapes using experimental and numerical methods*. *Energies*, 6(6), 2784-2803.
- Hau, E. and Von Renouard, H., 2006. *Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics (Vol. 2)*. Berlin: Springer.
- Nasional, D. E. (2015). *Ketahanan Energi Nasional*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Suprianto, F.D. and Jonathan, P., 2013. *PERANCANGAN PROPELER TURBIN ANGIN POROS HORIZONTAL DENGAN METODA BLADE ELEMENT MOMENTUM* (Doctoral dissertation, Petra Christian University).
- Tangler, J. L., & Somers, D. M. 1995. *NREL airfoil families for HAWTs (No. NREL/TP--442-7109)*. National Renewable Energy Lab., Golden, CO (United States).
- Gundtoft, S., 2009. *Wind turbines*. University College of Aarhus.
- Tang, X., Peng, R. and Liu, X., 2011. *Design and finite element analysis of mixed aerofoil wind turbine blades*.